

**Кыргызский государственный технический университет  
им. И.Раззакова**

На правах рукописи  
УДК 539.4

**Тултуков Бакытбек Тенирбергенович**

**ИССЛЕДОВАНИЕ  
НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА  
С УЧЕТОМ НЕУПРУГОЙ ДЕФОРМАЦИИ  
ГОРНЫХ ПОРОД**

Специальность: 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела

**А в т о р е ф е р а т**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

**БИШКЕК – 2006**

**Научный руководитель:** доктор технических наук,  
профессор Абдылдаев Э.К.

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук,  
профессор Кутуев М.Д.

кандидат физико-математических наук,  
доцент Кыдыралиев Н.Н.

**Ведущая организация:** Кыргызско-Российский славянский  
университет им. Б.Н.Ельцина

Защита состоится « 24 » ноября 2006 года в 14<sup>00</sup> часов на заседании Диссертационного совета Д 01.05.267 по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора (кандидата) наук в Кыргызском государственном техническом университете им.И.Раззакова по адресу: 720044, Кыргызская Республика, г.Бишкек, пр.Мира, 66.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Кыргызского государственного технического университета им.И.Раззакова.

Автореферат разослан «19» 10 2006 г.

Ученый секретарь диссертационного  
совета, д.т.н., доцент

Иманкулова А.С.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность проблемы.** В народном хозяйстве Республики горнодобывающие отрасли промышленности занимают одно из важнейших мест по своей роли в общественном производстве, экономической значимости и социальным факторам. В этой связи для создания эффективных и надежных конструкций шахт и карьеров, исследования в области горного дела должны быть комплексными в сочетании фундаментальных и прикладных наук.

Интенсивное развитие горнодобывающей промышленности связано со все возрастающими запросами практики освоения и эксплуатации месторождений полезных ископаемых на больших глубинах, со сложными горно-геологическими условиями. В этих условиях с целью обеспечения ритмичной, согласованной и безопасной работы всех звеньев механизированного производства особое значение приобретают вопросы определения оптимальных параметров горных выработок и прогноз устойчивости обнажений, на основе анализа напряженно-деформированного состояния породного массива.

В процессе образования в массиве горных выработок нарушается естественное напряженно-деформированное состояние. Вокруг выработок различного назначения появляются зоны не упругих деформаций. Особенно важное значение имеют закономерности деформирования горных пород за пределами прочности, связанные с разрыхлением (необратимым увеличением объема), разупрочнением (снижением сопротивляемости) и упрочнением. Указанные закономерности в значительной мере определяют характер напряженно-деформированного состояния породного массива вблизи выработок.

В связи с этим исследование напряженно-деформированного состояния массива вблизи выработок и оценка устойчивости с учетом запредельной деформируемости горных пород представляет актуальную задачу.

**Целью диссертационной работы** является разработка метода расчета напряженно-деформированного состояния горного массива вблизи выработок с учетом запредельной деформируемости пород.

**Основная идея работы** состоит в использовании запредельных характеристик горных пород и отличие механических свойств различных участков массива для оценки напряженно-деформированного состояния массива вблизи выработок.

### Задачи исследований:

1. Анализ особенностей экспериментальных диаграмм запредельного деформирования горных пород и геомеханических моделей сред;

2. Разработка метода расчета напряженно-деформированного состояния неоднородного массива вблизи выработок с учетом запредельной деформируемости горных пород;

3. Разработка алгоритма и компьютерной программы для решения геомеханических задач, имеющих теоретическое и практическое значение. Получение решения конкретных задач и анализ результатов.

**Методы исследования:** При выполнении работы использовались: анализ данных натурных и лабораторных экспериментов, методы теории упругости и пластичности, численный метод конечных элементов и средства компьютерной графики.

**Научные положения, выносимые на защиту:**

1. Геомеханические модели и систематизированное математическое описание массива вблизи выработок с учетом запредельной деформируемости горных пород введением параметров текучести  $C$ ,  $\varphi$ ,  $T$ ,  $\lambda$  ( $C$  – сцепление,  $\varphi$  – угол внутреннего трения,  $T$  – прочность на растяжение,  $\lambda$  – коэффициент разрыхления).

2. При описании массива горных пород разупрочняющейся и разрыхляющейся средой снижаются уровни напряжений вблизи контура выработок, увеличиваются размеры зон неупругих деформаций и величина конвергенции по сравнению со значениями, полученными на основе других моделей.

**Обоснованность и достоверность** научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается современными представлениями особенности запредельного деформирования горных пород вблизи выработок, адекватностью построенных математических моделей сред реальным свойствам породного массива, согласованностью результатов решения геомеханических задач разработанными методами известным аналитическим решениям и данным натурных наблюдений.

**Научная новизна работы** заключается в следующем:

Разработана методика расчета напряженно – деформированного состояния массива вблизи выработок учитывающая запредельные характеристики горных пород. В предложенной методике, в отличие от других, описание границ прочности и текучести дается в плоскости деформации, являющейся более удобной для численной реализации и проведения сложных расчетов.

На основе метода конечных элементов разработана новая универсальная численная процедура, реализующая геомеханические модели на компьютере и позволяющая обработать результаты исследований с помощью средств машинной графики.

Получен ряд новых решений, учитывающих сложный комплекс горно-геологических условий при разработке месторождений полезных ископаемых подземным способом, установлены основные закономерности деформирования породного массива вблизи выработок.

**Практическая значимость** диссертационной работы состоит в разработке пригодной для решения инженерных задач методики расчета и анализа напряженно-деформированного состояния неоднородного

массива вблизи выработок сложного очертания с учетом нелинейной деформации горных пород.

**Апробация работы.** Основные результаты исследований и научные положения диссертации докладывались на Всесоюзном семинаре «Проблемы разработки полезных ископаемых в условиях высокогорья» (Бишкек, 1991); на научном семинаре ИФиМП НАН Кыргызской Республики (Бишкек, 1995); на 4-й Республиканской научно - методической конференции (Бишкек, 1996); на международной научной конференции «Математическое моделирование в естественных науках» (Алматы, 1997); на научном семинаре КГТУ им. И.Раззакова (Бишкек, 1997); на научно-практической конференции ИГУ им.К.Тыныстанова (Каракол, 2001); на научно-практической конференции ИИК им.академика Ж.Алышбаева (Каракол, 2002, 2006); на расширенном заседании кафедры «Механики» КГТУ им.И.Раззакова (Бишкек, 2006).

**Публикация результатов.** По результатам исследований опубликовано 8 статей в научных журналах и сборниках.

**Объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованной литературы, включающего 109 наименований. Объем диссертации 112 страниц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе диссертации приведен анализ современного состояния вопроса и сформулированы задачи исследований.

Реальный породный массив представляет собой весьма сложный для математического моделирования физический объект. Исследованиям напряженно-деформированного состояния массивов горных пород вокруг выработок различного назначения и прогнозированию проявления горного давления посвящены работы многих авторов: Ш.М.Айтиев, М.Т.Алимжанов, Б.З.Амусин, Д.Аргирис, Н.В.Баклашов, Н.С.Булычев, Ю.А.Векслер, В.В.Виноградов, Л.В.Ершов, О.К.Зенкевич, В.Т.Глушко, М.В.Курленя, С.В.Кузнецов, Т.Д.Каримбаев, Б.А.Картозия, С.Г.Лехницкий, А.М.Линьков, А.П.Максимов, В.Е.Миренков, Н.П.Немчин, М.Пане, А.Г.Протосеня, А.Ф.Ревуженко, И.В.Родин, Л.А.Розин, К.В.Руппенейт, Г.Н.Савин, А.Б.Фадеев, А.П.Филин, Н.И.Фотиева, Е.И.Шемякин, П.Эггер и др.

Прогресс в экспериментальных методах изучения свойств горных пород позволил выявить новые важные особенности деформирования пород за пределом прочности, характеризующиеся разрыхлением и разупрочнением. Тем самым были созданы предпосылки для разработки новых моделей сред. Эти особенности деформирования горных пород нашли отражение в работах Э.К.Абдылдаева, Б.З.Амусина, К.А.Ардашева, А.М.Линькова, Н.П.Немчина, М.Пане, И.М.Петухова,

А.Ф.Ревуженко, П.Эггера и др. Аналитические методы решения с учетом запредельных свойств в силу механико-математической сложности проблемы применимы к простейшим вариантам, далеким от реальных геотехнических ситуаций. В связи с этим важнейшей задачей исследований является разработка численных методов расчета напряженно-деформированного состояния массива.

Учет многообразных факторов, приближающих расчетную модель массива к реальной, может быть осуществлен на основе применения современных численных методов решения краевых задач как метода конечных и граничных элементов. Среди различных численных методов наиболее совершенным для решения геомеханических задач является метод конечных элементов (МКЭ). Наглядность и возможность учета сложных горно-геологических и горно-технических условий породного массива при разработке месторождений полезных ископаемых открывает перспективный путь продуктивному применению МКЭ в геомеханике.

В диссертационной работе поставлена задача исследования напряженно-деформированного состояния массива вблизи выработок с учетом неупругой деформации горных пород на основе численного метода конечных элементов.

Вторая глава диссертации посвящается анализу результатов известных теоретических исследований и экспериментальных испытаний пород. На основе исследований предложена методика расчета напряженно-деформированного состояния массива с учетом неупругой деформаций горных пород.

На рис.1 представлен комплекс графиков, характеризующих свойства выбранных нами моделей упруго-пластической разрыхляющейся среды и среды с разупрочнением с традиционным условием прочности, обобщенным на область растяжения:

$$\begin{aligned} \sigma_1 - \sigma_3 \delta &= S; \\ \delta &= \text{ctg} \psi; \quad S = 2 * c * \text{ctg}(\pi/4 - \varphi/2), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\text{ctg} \psi = (1 + \sin \varphi)/(1 - \sin \varphi)$ ;  $\varphi$  - угол внутреннего трения;  $c$  - сцепление;  $S$  - прочность на одноосное сжатие.

Запредельные диаграммы  $\sigma_1 - \epsilon_1$  (рис.1) моделей аппроксимируются кусочно-линейными функциями. Верхние графики зависимостей отражают изменения сопротивляемости среды по мере деформирования при различных боковых давлениях, нижние - закон пластического течения. При этом для упруго-пластической среды (штрихпунктирные линии на рис.1с) условие (1) сохраняется для всего процесса деформирования, а для разупрочняющейся среды сопротивляемость снижается от исходной величины до остаточной по линейному закону (рис. 1а):

$$\sigma_1 = \begin{cases} S + \sigma_3 \delta, & \text{если линия (ABH),} \\ S^{ост} + \sigma_3 \delta^{ост}, & \text{если линия (OMD),} \end{cases} \quad (2)$$

где  $S^{ост}, \delta^{ост}$  - характеристики остаточной прочности.

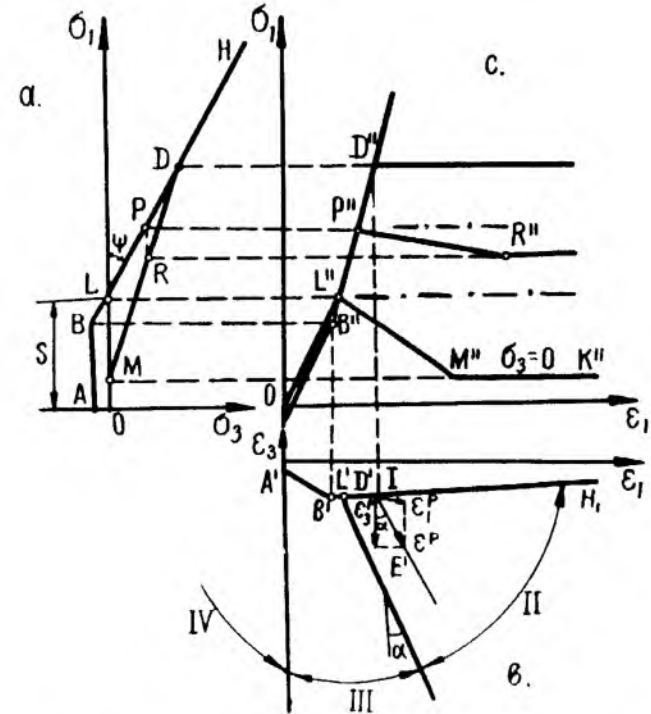


Рис.1. Комплекс графиков, характеризующих модели сред

Пластическое течение характеризуется параметром  $\lambda = \text{ctg} \alpha$  (рис. 1в). При  $\lambda = 1$  в условиях плоской деформации объем элемента среды в ходе пластического течения будет постоянным, при значении  $\lambda > 1$  течение будет характеризоваться разрыхлением. В частном случае, когда  $\alpha = \psi$  ( $\lambda = \text{ctg} \psi$ ), разработанная модель соответствует ассоциированному закону течения.

В результате проведенных исследований в моделях установлены 5 характерных зон: зона упругости I; зона пластического течения II; зоны одноосного и двухосного разрушения III-V. Причем, для модели разупрочняющейся и разрыхляющейся среды в зоне II на участках

снижения прочности происходит разрыхление, а в области остаточной прочности необратимая составляющая изменения объема остается постоянной. В целом значения напряжений в выделенных зонах определяются использованием семейств линеаризованных графиков зависимостей

$$\begin{aligned} \sigma_3 &= f(\varepsilon_1, \varepsilon_3), \\ \sigma_1 &= g(\varepsilon_1, \varepsilon_3) \end{aligned} \quad (3)$$

В третьей главе диссертации дается описание процедур, алгоритмов и программ, разработанных на основе МКЭ и использующих модели, предложенные во втором разделе. Программы позволяют рассчитывать напряженно-деформированное состояние областей произвольной формы с произвольными граничными условиями.

Основная процедура МКЭ рассматривает среду как упругую и сводится в конечном счете к решению системы линейных алгебраических уравнений относительно неизвестных перемещений:

$$[K] \cdot \{U\} = \{X\}, \quad (4)$$

где  $\{X\}$  и  $\{U\}$  – векторы узловых сил и перемещений;

$[K]$  – матрица жесткости, формирующаяся по известным процедурам МКЭ.

Решение нелинейных задач осуществляется с помощью нескольких последовательных линейных решений с изменяемыми упругими параметрами. В литературе известны описания процедуры с варьируемой жесткостью (инкрементальная и итерационная с переменными упругими характеристиками) и итерационной процедуры с постоянными упругими характеристиками (метод начальных напряжений и начальных деформаций). В работе подробно рассмотрены эти процедуры, показаны достоинства и универсальность метода начальных напряжений и получены новые результаты в области развития метода начальных напряжений применительно к общему случаю, когда закон состояния среды задается в виде семейств линеаризованных графиков.

Отладка программы, проверка качества конечно-элементной сетки и геомеханической модели породного массива осуществлены решением тестовых задач, имеющих аналитические решения.

Для количественной и качественной оценки решения МКЭ по разработанной программе на компьютере проведено решение, сопоставимое с известной задачей Галина. Заданы свойства идеально-пластической среды с критерием текучести Треска (то есть с углом внутреннего трения  $\varphi=0$ ), качественно эквивалентные свойствам среды задачи Галина. Коэффициент дилатации  $\lambda=1$ , что обеспечивает равнообъемное течение.

Для того чтобы выяснить характер роста зоны пластических деформаций с изменением нагрузки, задача решалась в двух вариантах. В первом варианте нагрузка прикладывалась целиком, во втором

задавалось приращением в пять ступеней. Результаты расчетов по вариантам, соответствующих полной нагрузке совпадают.

На рис. 2 показаны перемещения точек контура выработки  $U$ , рост зоны пластических деформаций. По полученному решению контур пластической зоны представляет собой эллипсоподобную фигуру с большой полуосью  $a=3.14R$  и малой полуосью  $b=1.77R$  ( $R$  – радиус отверстия). Из решения Галина следует, что зона пластических деформаций имеет вид эллипса с полуосями  $a=3.05R$ ,  $b=1.64R$ .

Напряжение вблизи контура отверстия равно пределу прочности на одноосное сжатие, а вдали от контура на поверхности – заданным напряжениям.

В табл.1 приведена величина перемещения узлов контура – отверстия в долях  $R$ , а в табл.2 – значения напряжений в пластической зоне полученные по формулам Галина и по МКЭ.

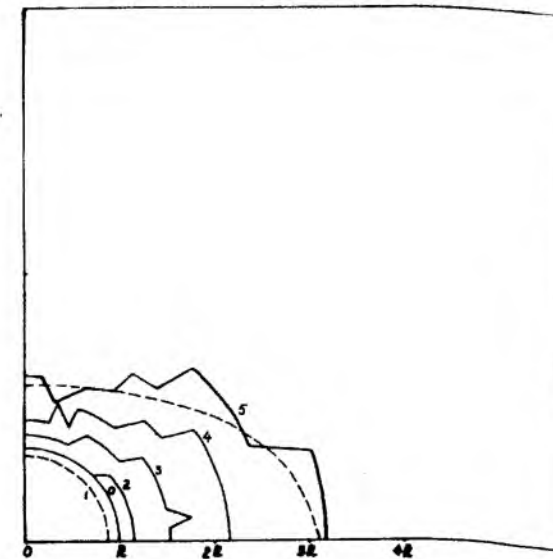


Рис.2 Изменение зоны пластических деформаций в процессе пошагового нагружения.

Таблица 1

Номер узла	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\Delta x \cdot 10^3/R$	-41	-40	-38	-34	-29	-24	-18	-12	-6	-4	0
$\Delta y \cdot 10^3/R$	0	-9	-16	-23	-29	-32	-36	-38	-39	-39	-39

Таблица 2

Горизонтальная ось					Вертикальная ось				
$\sigma_x$		$\sigma_y$			$\sigma_x$		$\sigma_y$		
r/R	по Галину	по МКЭ	по Галину	по МКЭ	r/R	по Галину	по МКЭ	по Галину	по МКЭ
1	0	0.1	2	2.07	1	0	0	2	2.08
1.28	0.49	0.49	2.49	2.62	1.14	0.27	0.39	2.27	2.39
1.8	1.18	1.20	3.18	3.37	1.28	0.49	0.58	2.49	2.58
2.14	1.52	1.50	3.52	3.60	1.64	0.99	1.10	2.99	2.88
2.57	1.89	1.85	3.89	3.92					
3.05	2.23	2.19	4.23	4.24					

Из таблицы видно, что даже при сравнительно крупной сети элементов аналитическое и численное решения очень близки.

В четвертой главе решены конкретные задачи горной геомеханики, демонстрирующие возможности разработанного метода и имеющие практическое значение.

Проведена серия решений для горизонтальной протяженной горной выработки кругового поперечного сечения, находящейся в поле равнокомпонентных и неравнокомпонентных напряжений. Решения получены для различных моделей сред с коэффициентом разрыхления  $\lambda$ , равным 3, 6, 9.

Нагружение выработки в среде, подчиняющейся ассоциированному закону течения ( $\lambda = \text{ctg}^2 \psi = 3$ ) и обладающей свойствами  $E = 1 \cdot 10^3$  МПа,  $\nu = 0.3$ ,  $\gamma = 0$ ,  $C = 1$  МПа,  $\varphi = 30^\circ$  проведены в трех вариантах: 1 - Равнокомпонентное нагружение выработки  $\sigma_y = \sigma_x = 7$  МПа, 2 - Неравнокомпонентное нагружение  $\sigma_y = 3.5$  МПа,  $\sigma_x = 1.2$  МПа и 3 -  $\sigma_y = 7$  МПа и  $\sigma_x = 2.4$  МПа.

Контуры пластических зон и смещения узлов контура выработки, эпюра напряжений  $\sigma_y$ ,  $\sigma_x$  для всех решений, полученных по МКЭ, изображены на рис.3.

В варианте 1 для равнокомпонентного нагружения максимальное значение напряжений  $\sigma_y^{\text{max}} = 11.5$  МПа достигается на границе пластической зоны. Профессор Фисенко Г.Л. дает решение аналогичной задачи методом предельного равновесия. При этом максимальное напряжение, после подстановки параметров рассматриваемой задачи в формулу Г.Л.Фисенко, равно 11.4 МПа, что практически равно величине, полученной нами по МКЭ.

По решениям МКЭ смещение точек контура выработки составляет  $U_R = -0.102R$ , радиус зоны пластических деформаций составляет  $r = 1.52R$  (рис.3а). Профессор Амосин Б.З. приводит аналитические формулы для расчета перемещений точек контура:

$$U_R = (\gamma H + C \cdot \text{ctg} \varphi) R \sin \varphi \frac{Z^{W+2}}{2G} \quad (5)$$

где  $G$  - модуль сдвига;  $W = 2 \sin \varphi / (1 - \sin \varphi)$  и радиуса пластической зоны:

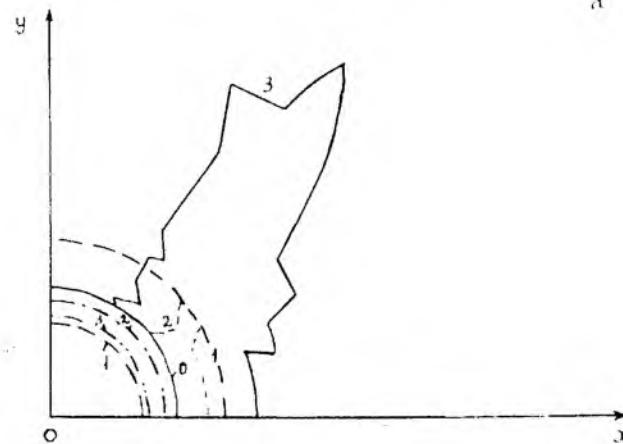
$$Z = \left[ 1 + W \frac{\gamma H}{S} (1 - \sin \varphi) \right]^{\frac{1}{W}} \quad (6)$$

где  $S$  - прочность на одноосное сжатие.

При подобных свойствах Среды и условиях нагружения расчет по этим формулам дает значение  $U_R = -0.125R$ ,  $r = 1.57R$ , что весьма близко к результатам расчетов МКЭ. Относительная погрешность напряжений на границе пластической зоны составляет 0.3%, радиуса пластической зоны - 3% и смещения контура выработки 18%.

Анализ эпюра напряжений вдоль горизонтальной оси (рис.3б) показывает, что область концентрации напряжений в варианте 3 отодвигается от контура выработки вглубь массива на расстояние примерно в два раза больше, чем в варианте 2. Концентрация напряжений (т.е. отношение  $\sigma_y^{\text{max}} / \sigma_y^{\text{min}}$ ) не зависит от  $\sigma_y$  и равна 1,9.

Анализируя результаты вариантов 2 и 3 (рис. 3а) отметим, что в условиях не равнокомпонентного нагружения пластические зоны не охватывают весь контур выработки. Эта зона существенно увеличивается с ростом нагрузки, концентрируясь в сравнительно узкой области, наклоняясь к вертикальной оси. Форма пластической зоны подобна четырехлистнику, такие же зоны наблюдаются в фото-механических испытаниях.



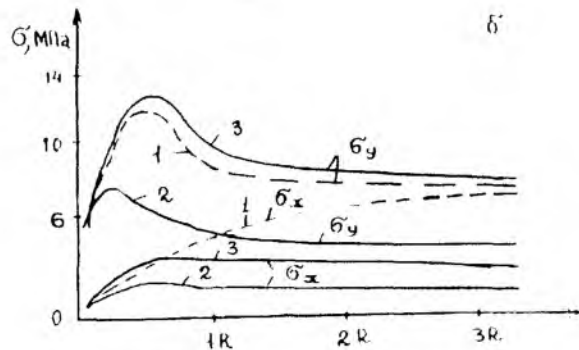


Рис.3. Контуры пластических зон, смещений (а) и эпюры напряжений (б) при решении задач по вариантам – 1, 2, 3; о – исходный контур выработки

Анализ результатов показал существенную зависимость размеров зоны неупругих деформаций от свойств среды. Отмечено, что по модели разупрочняющейся и разрыхляющейся среды III размеры зон неупругих деформаций намного больше, чем по моделям I, II. Кроме того, по модели III наблюдается снижение уровня вертикальных напряжений вблизи выработки и область концентраций напряжений отодвигается от контура выработки вглубь массива. В табл.1 приведены средние величины конвергенции (расчетные и измеренные) в долях радиуса выработки. Сопоставление показывает близость полученных результатов и экспериментальных данных.

Таблица 3

Конвергенция	Модель II			Модель III	Измеренные
	$\lambda=3$	$\lambda=6$	$\lambda=9$	$\lambda=3$	
$U_R$	-0.102	-0.124	-0.161	-0.150	-0.178

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа является законченной научно-исследовательской работой, содержащей новое решение научной и практической проблемы, имеющей важное народнохозяйственное значение и заключающейся в разработке метода расчета напряженно-деформированного состояния породного массива вокруг выработок сложного очертания с учетом неупругих деформаций горных пород. Основные научные, методические и практические результаты диссертационной работы сводятся к следующему:

1. Разработана методика расчета напряженно-деформированного состояния породного массива, вокруг выработок сложного очертания с учетом запредельных характеристик горных пород. В предложенной методике описание границ прочности и текучести дается в плоскости деформации, являющейся более удобной для численной реализации и проведения сложных расчетов.

2. Разработана новая численная процедура на основе деформационной теории пластичности и метода конечных элементов, реализующие расчетную методику на ЭВМ. Разработанная методика позволяет в единой расчетной схеме поэтапно отработать месторождения полезных ископаемых в виде открытых или подземных выработок.

3. На основе анализа запредельной деформируемости породных массивов вблизи подземных выработок выявлено влияние прочностных и деформационных свойств на размеры зон неупругих деформаций и на величину конвергенций выработок. Установлено, что при использовании в расчетной схеме модели разупрочняющейся и разрыхляющейся среды по сравнению с другими моделями, увеличиваются размеры зон неупругих деформаций, снижаются уровни напряжений вблизи контура выработки и увеличиваются смещения (конвергенция).

4. Сопоставление полученных в диссертации результатов расчетов с известными аналитическими решениями, данными натурных и лабораторных экспериментов, подтверждают эффективность разработок для решения практических задач.

**Основные положения диссертации опубликованы  
в следующих работах:**

1. Абдылдаев Э.К., Тултуков Б.Т. Вариационный метод оценки устойчивости откосов, Материалы международной конференции «Математическое моделирование в естественных науках», г.Алматы, 1997 г., с.23
2. Абдылдаев Э.К., Тултуков Б.Т. Решение нелинейных задач методом конечных элементов, г.Каракол, Вестник ИГУ, №14, 2005 г., с.106-108
3. Абдылдаев Э.К., Тултуков Б.Т. Математические модели учитывающие неупругие деформации горных пород, г.Каракол, Вестник ИГУ, №15, 2005 г., с.104-106
4. Тултуков Б.Т. О компьютерном моделировании геомеханических задач, г.Каракол, Вестник ИГУ, №15, 2005 г., с.102-104
5. Абдылдаев Э.К., Абдылдаев К.К., Тултуков Б.Т. Структура компьютерной программы на основе метода конечных элементов, XII Международная научно-практическая конференция студентов и молодых ученых «Современные техника и технологии СТТ 2006», посвященная 110-летию Томского политехнического университета, Россия, г.Томск, 2006 г., с.14-16
6. Абдылдаев Э.К., Тултуков Б.Т., Курманбек уулу Т. Технические возможности разработанной компьютерной программы, XII Международная научно-практическая конференция студентов и молодых ученых «Современные техника и технологии СТТ 2006», посвященная 110-летию Томского политехнического университета, Россия, г.Томск, 2006 г., с.16-18
7. Тултуков Б.Т. Расчет напряженно-деформируемого состояния породного массива вокруг незакрепленной горизонтальной выработки, г.Каракол, Вестник ИГУ, № 16, г. Каракол, 2006 г., с.22-25
8. Тултуков Б.Т., Абдиева А.К., Абдылдаева Д.К. Методическое указание «Сборник тестовых заданий по информатике и метода конечных элементов», г.Каракол, 2006 г., с.1-71

**РЕЗЮМЕ**

**Тултуков Бакытбек Тенирбергенович. Исследование напряженного состояния массива с учетом неупругой деформации горных пород.**

**Ключевые слова:** *напряжение, деформация, сила, устойчивость, неупругая деформация, горные породы, разрыхление, разупрочнения, автоматизация, метод.*

В данной диссертационной работе разработана методика расчета напряженно-деформированного состояния породного массива, вокруг выработок сложного очертания учитывающие запредельные характеристики горных пород. В предложенной методике, в отличие от других, описание границ прочности и текучести дается в плоскости деформации, являющейся более удобной для численной реализации и проведения сложных расчетов. На основе метода конечных элементов разработана новая универсальная численная процедура, реализующая предложенную методику на компьютере и позволяющая обработать результаты исследований с помощью средств машинной графики. Получен ряд новых решений, учитывающих сложный комплекс горно-геологических условий при разработке месторождений полезных ископаемых подземным способом, установлены основные закономерности деформирования породного массива вблизи выработок.



## РЕЗЮМЕ

Тултуков Бакытбек Теңирбергенович. *Тоо тектеринин серпилгичтиксиз деформацияланышын эске алуу менен массивдин чыңалуусун изилдөө.*

Негизги сөздөр: *чыңалуу, деформация, күч, туруктуулук, серпилгичтици эмес деформация, тоо тектери, көлөмдүн өзгөрүшү, талкалануу, автоматташтыруу, метод.*

Диссертацияда тоо-тек массивинин серпилгичтиксиз деформацияланышын чагылдырган математикалык методу түзүлгөн. Сунуш кылынган методдун башкалардан айырмасы, серпилгичтиксиздиктин чеги деформациялык тегиздикте ыңгайлуу жол менен сандык методдоо иштелип чыккан жана татаал эсептөөлөрдө колдонулган. Чектүү элементтер методунун негизинде түзүлгөн жаңы универсалдык процедуранын жардамы менен сунуш кылынган математикалык метод компьютерде иштелип чыгып изилдоонун жыйынтыгы берилген. Тоо тектеринин татаал тоо-геологиялык шарттарын эске алуу менен жаңы маселелер чыгарылган жана жер кыртышын жабык түрдө иштетүүдө пайда болгон өткөөлдүктөрдүн деформациялык абалы аныкталган.

## RESUME

**Tultukov Bakytbek Tenirbergenovich. Investigation of tensional condition of massif with the stock of unresilient rocks deformation.**

**Keywords:** *tension, deformation, strength, stability, unresilient deformation, rocks, loosen, consolidation of automation, method.*

In this dissertation work research the geomechanical method of massif rock, reflecting out of limit rock characteristics are worked out. At this suggested method, unlike the others, the description of the strength limit and the fluidity are given on the flat of the deformation, which are more comfortable for realization of numbers and for solving difficult calculations. On the base of the finite elements method the new universal number procedure is conducted, which is realizing geomechanical method on computer and allowing the working up of the results investigation with the help of means of machine graph. The row of new decisions, taking the difficult complex mountain geological conditions into consideration is obtained working out the birth-place by the underground way, the basic objective laws of massif rocks deformation near output is installed.



---

**Тултуков Бакытбек Тенирберенович**

**ИССЛЕДОВАНИЕ  
НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА  
С УЧЕТОМ НЕУПРУГОЙ ДЕФОРМАЦИИ  
ГОРНЫХ ПОРОД**

Автореферат диссертации

Тех.редактор *Кочоров А.Д.*

---

Подписано к печати 16.10.2006г. Формат бумаги 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Бумага офс. Печать офс. Объем 1,0 п.л. Тираж 100 экз. Заказ 488

г.Бишкек, ул. Сухомлинова, 20. ИЦ "Текник" КГТУ, т.: 42-14-55, 54-29-43

E-mail: [ict@ktu.aknet.kg](mailto:ict@ktu.aknet.kg), [beknur@mail.ru](mailto:beknur@mail.ru)